

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт Природных ресурсов
 Направление подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело
 Кафедра Геологии и разработки нефтяных месторождений

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Интерпретация каротажных диаграмм для построения одномерной геомеханической модели в условиях недостатка исходных данных (на примере Сулакского нефтяного месторождения Ульяновской области)

УДК 550.832.ББК26.21.К71

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ41	Переверзев П.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ГРНМ ИПР ТПУ	Чернова О.С.	К.Г.-М.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ГРНМ	Чернова О.С.	К.Г.-М.Н.		

Томск – 2016 г.

Оглавление

АННОТАЦИЯ.....	3
ВВЕДЕНИЕ	5
2 CALCULATION OF GEOMECHANICAL PARAMETERS IN WELL № 99	7
2.1 Overburden stress calculation.....	7
2.2 Main geomechanical parameters calculation.....	7
Further calculations.....	9
2.3 Pore pressure calculation	14
2.4 σ_{\min} , σ_{\max} calculation and further surveys	17
3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	18
4 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	19

Аннотация

В настоящее время геомеханика становится все более популярной для решения следующих проблем, оптимизация дизайна гидроразрыва пласта, проблемы выноса песка и оптимизации процесса бурения. Для того, чтобы решить эти проблемы необходимо построить одномерную геомеханическую модель.

Для геомеханической модели нужны как минимум следующие данные: вертикального напряжение, минимальное горизонтальное напряжение; максимальное горизонтальное напряжение, поровое давление, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, угол внутреннего трения, прочность горных пород на одноосное сжатие.

Однако напрямую определить данные параметры невозможно, поэтому используются корреляционные зависимости с каротажными диаграммами и их производными.

В условиях ограниченных данных, это может оказаться весьма трудной задачей. Например, в Российской практике проведения каротажей чаще всего плотностной и акустический каротажи проводятся только в продуктивном пласте. Более того в некоторых скважинах плотностной каротаж вовсе отсутствует. Это делает создание геомеханической модели невозможным или слишком дорогим. Решение этой проблемы – восстановление синтетических каротажей. Однако, для этого до сих пор не существует общих правил или схем. В данной работе будут предложены схемы для восстановления каротажей. А также, геомеханические параметры, которые возможно получить в условиях недостатка входных данных будут подсчитаны. Далее дополнительные исследования для построения надежной геомеханической модели Сулакского нефтяного месторождения будут предложены.

Summary

Nowadays geomechanics becomes increasingly popular for solutions of such issues as hydraulic fracturing design optimization, solution of sand production problem and optimization of drilling process. In order to solve these problems it is necessary to construct one – dimension mechanical Earth model. However, it can be quite difficult in conditions when source data is limited, for example in Russian field practice density and acoustic logs very often are produced only in production interval or a little more, shear wave velocity is absent most often. Moreover in some wells density log is completely missing. It makes impossible construction of geomechanical model or makes it too expensive. Solution of these problems is logs reconstruction. However there is no common rules or methods for logs reconstruction. In this work schemes for logs reconstruction will be suggested.

Введение

Сегодня геомеханика становится все более популярной для решения следующих проблем, оптимизация дизайна гидроразрыва пласта, проблемы выноса песка и оптимизации процесса бурения. Для того, чтобы решить эти проблемы необходимо построить одномерную геомеханическую модель.

Для геомеханической модели нужны как минимум следующие данные: вертикальное напряжение, минимальное горизонтальное напряжение; максимальное горизонтальное напряжение, поровое давление, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, угол внутреннего трения, прочность горных пород на одноосное сжатие.

Однако напрямую определить данные параметры невозможно, поэтому используются корреляционные зависимости с каротажными диаграммами и их производными.

В условиях ограниченных данных, это может оказаться весьма трудной задачей. Например, в Российской практике проведения каротажей чаще всего плотностной и акустический каротажи проводятся только в продуктивном пласте. Более того в некоторых скважинах плотностной каротаж вовсе отсутствует. Это делает создание геомеханической модели невозможным или слишком дорогим. Решение этой проблемы – восстановление синтетических каротажей. Однако, для этого до сих пор не существует общих правил или схем. В данной работе будут предложены схемы для восстановления каротажей. Также, геомеханические параметры, которые возможно получить в условиях недостатка входных данных будут подсчитаны. Далее дополнительные исследования для построения надежной геомеханической модели будут предложены.

Цели

Необходимые данные для получения одномерной геомеханической модели перечислены выше, для подсчета этих параметров необходимы

следующие входные данные: отчеты ГРП, каротажи: плотностной, акустический с продольными и поперечными волнами, нейтронный. Каротажи для интерпретации литологии: гамма каротаж, СП каротаж, каверномер, микрозонды, также необходимы данные по геомеханическим и петрофизическим исследованиям керна, данные во время бурения, более того все эти данные необходимы от поверхности земли до подошвы продуктивного пласта. Однако, практически всегда, в интервале от поверхности Земли до конца кондуктора скважины присутствуют только гамма и нейтронный каротажи. Цель данной работы предложить общую методику восстановления синтетических плотностного и акустического каротажей а также предложить дальнейшие геомеханические исследования на Сулакском месторождении для построения надежной геомеханической модели.

2 Calculation of geomechanical parameters in well № 99

2.1 Overburden stress calculation

Now density log in surface casing is reconstructed and available in all interval from the Earth surface to the bottom of the production interval. Therefore S_v can be calculated by the following formula:

$$S_v = \int_0^z \rho g(z) dz \dots\dots\dots(12)$$

Where ρ – values of density from log, g/cm³;

g - gravitational acceleration, m/s²;

z - absolute depth, m.

2.2 Main geomechanical parameters calculation

Calculation of the main geomechanical parameters demands V_s (shear wave velocity) to be known. Therefore next step is to calculate V_s . The best log for this purpose is acoustic. S_v can be calculated from Pwave velocity using John P. Castagna correlation, moreover V_s values can be checked because core with acoustic surveys is available in production interval. John Castagna correlation for V_s is provided in Table 8. Dependencies between V_s and V_p in production interval is provided in Figure 42. V_s logs reconstructed from core data and Castagna correlation are presented in Figure 43.

V_p versus V_s regression coefficients for various lithologies					
Coefficients are for velocities in km/s and the equation $V_s = a V_p^2 + b V_p + c$.					
Coefficient	Limestone	Dolomite	Sandstone	Shale	Coal
a	-0.055	----	----	----	-0.232
std error	0.006	----	----	----	0.012
b	1.017	0.583	0.804	0.770	1.542
std error	0.048	0.037	0.009	0.020	0.064
c	-1.030	-0.078	-0.856	-0.867	-1.214
std error	0.088	0.104	0.106	0.120	0.014
R squared	0.991	0.874	0.984	0.979	0.966
# samples	129	37	136	32	143
min V_p	1.5	4.0	1.5	1.5	1.5
max V_p	6.5	7.0	6.1	5.9	3.5

Таблица 1 coefficients for V_s calculation in different lithologies.

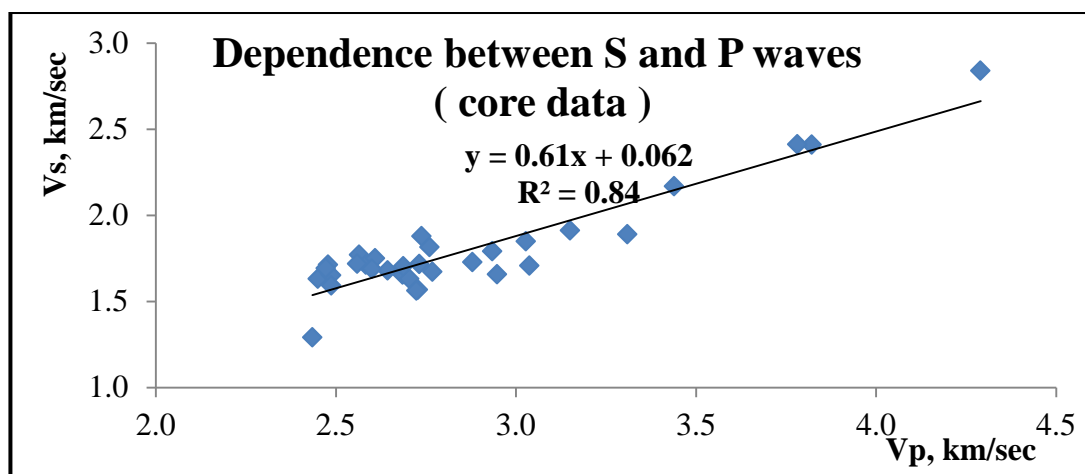


Рисунок 1 – correlation between V_s and V_p from core data

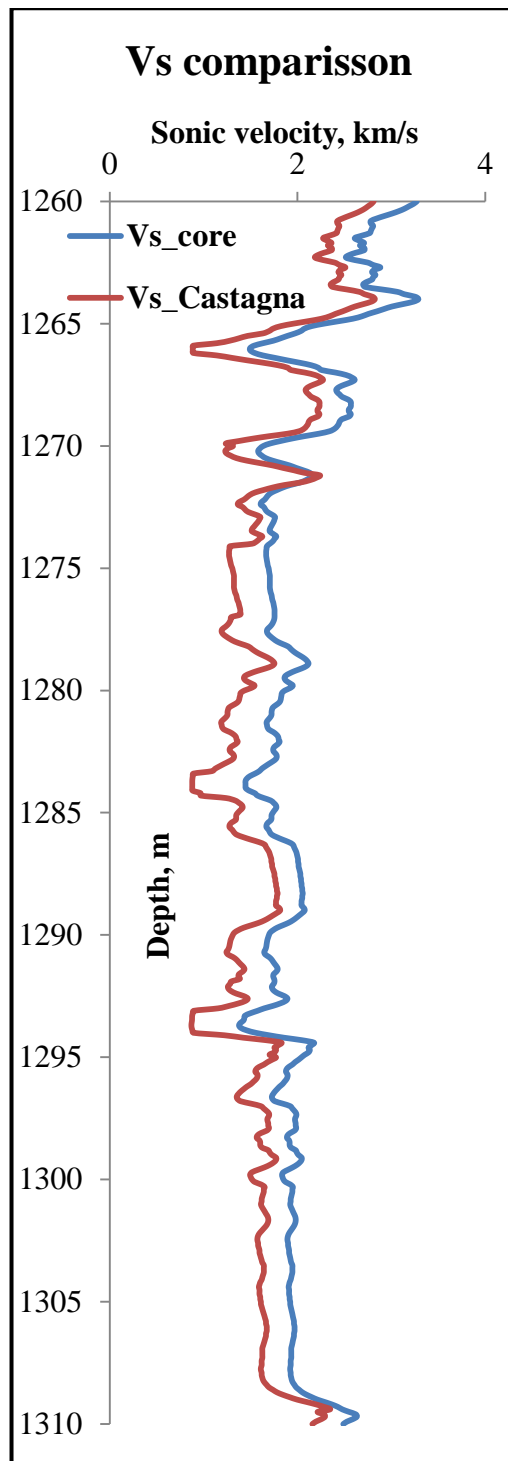


Рисунок 2 Vs logs reconstructed from core data and Castagna correlation

Further calculations will base on correlations, and will have some degree of uncertainty.

For Poisson's ratio calculation next formula is used:

$$v = \frac{1 - 2Vs^2/Vp^2}{2 * (1 - \frac{Vs^2}{Vp^2})} \dots\dots\dots(13)$$

Where V_s - Shear wave velocity, km/s;

V_p – P-wave velocity, km/s;

For dynamic Young's module calculation next formula is used:

$$E = 2\rho V_s^2 * (1 + \nu) \dots\dots\dots(14)$$

Where ρ – Density, g/cm³;

V_s - Shear wave velocity, km/s;

ν – Poisson's ratio.

For UCS calculation many correlations exists for each lithology. However, accordingly to Plumb survey for clean sandstones with grain frame and shaliness less than 15% correlations based on porosity give quite reliable result. [3] Therefore next step is porosity match (for calculation log of effective porosity and average shaliness). Best correlation with core porosity was reached using neutron log (c.u. are converted to porosity using equation from the Figure 8) and Staiber model of shaliness. In Figure 44 correlation between core and log porosity is presented. Average porosity in production interval is about 15%.

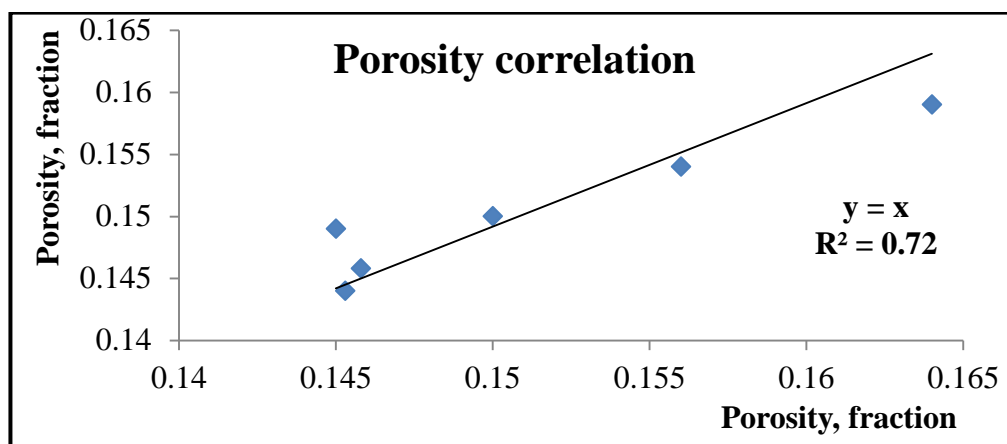


Рисунок 3 – correlation between log and core porosity.

In Figures 45-46 porosity log and shaliness log are presented accordingly. Average shaliness is 13 % therefore for UCS calculations in sandstones correlations based on porosity will be used. Further, in Table 9 formulas for UCS calculation for each lithology are presented [4]

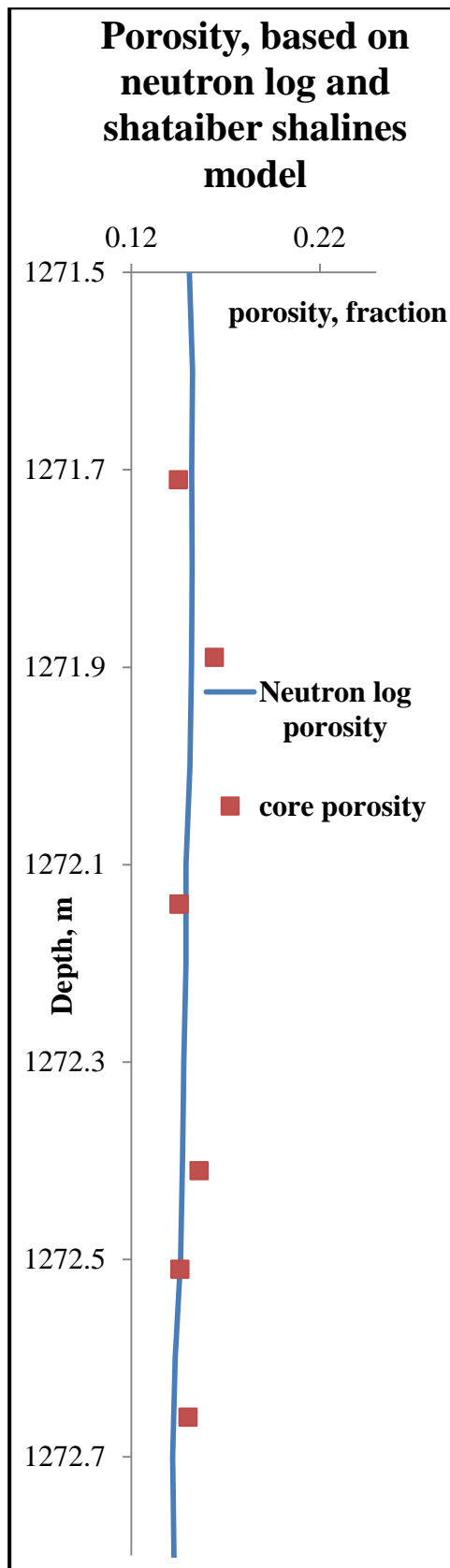


Рисунок 4 log porosity and core porosity

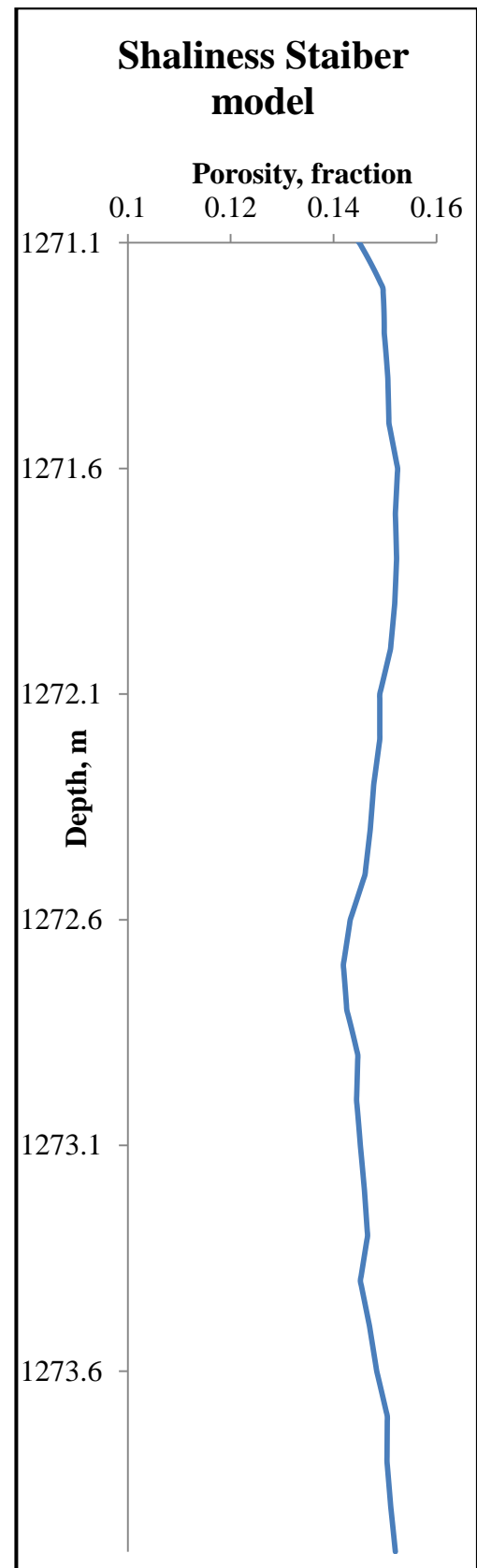


Рисунок 5 shaliness log (Staiber model)

Таблица 2 main correlations for UCS calculation

Lithology	Formula
Sandstones UCS	$254 * (1 - 2.7\varphi)^2$
	$277 * \exp(-10\varphi)$
Shales	$0.77 * (304.8/\Delta t)^{2.93}$
	$0.43 * (304.8/\Delta t)^{3.2}$
	$1.35 * (304.8/\Delta t)^{2.6}$
	$0.5 * (304.8/\Delta t)^3$
	$7.97E^{0.91}$
	$7.22E^{0.712}$
	$1.001\varphi^{-1.143}$
	$2.922\varphi^{-0.96}$
	$0.286\varphi^{-1.762}$
	$10 * (304.8/\Delta t - 1)$
Carbonates	$(7682/\Delta t)^{1.82}/145$
	$10^{(2.44+109.14/\Delta t)}/145$
	$13.8E^{0.51}$
	$25.1E^{0.34}$
	$276(1 - 3\varphi)^2$
	$143.8\exp(-6.95\varphi)$
	$135.9\exp(-4.8\varphi)$

Absolute porosity is used in these formulas. It was taken from neutron log (there is no core data in carbonates and shales, therefore porosity it these lithologies has some level of uncertainty)

Also in these formulas static Young's module is used, for it calculation next formulas were used [5]:

1. *if $E_{dyn} < 15$ then $E_{st} = 0.41E_{dyn} - 1.06$ Else $E_{st} = 1.153E_{dyn} - 15.2$*
2. $E_{st} = 1.137E_{dyn} - 9.685$
3. $E_{st} = 0.64E_{dyn} - 0.32$
4. $E_{st} = 10.67V_p - 18.71$

All the correlations for static Young's module give close values and therefore for next calculations average E_{st} between all the correlations is used. After calculation all the correlations min and max values of UCS for each lithology type is chosen and range of parameter is found.

Other geomechanical parameter is angle of internal friction. It is found using next correlation, which gives the most probable values for sandstones formula [4]:

$$\mu = 57.8 - 105\varphi \dots\dots\dots(15)$$

In this formula effective porosity in sandstones is used, average angle of internal friction in production interval is about 42°. Calculated geomechanical parameters are provided in Figure 47.

E – Young's module [GPa]

Angle of internal friction [°] – (degrees)

Sv – [MPa]

Poisson's ratio – dimensionless

UCS – [GPa]

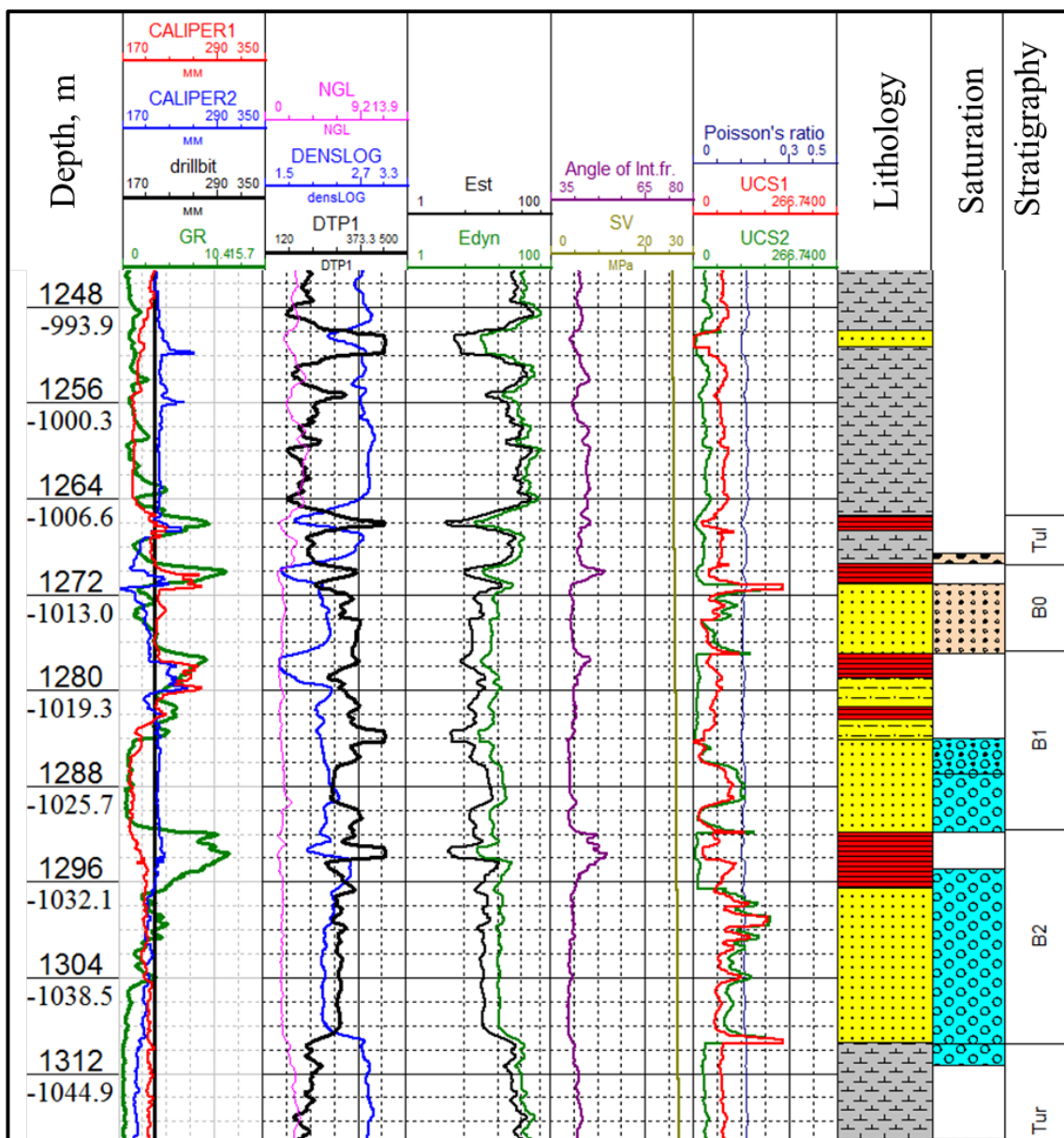


Рисунок 6 – main geomechanical parameters.

2.3 Pore pressure calculation

For mechanical earth model it is necessary to find pore pressure in all interval (not only reservoir), however RFT data is absent and for this purpose overpressured zones and pore pressure in shales will be found through porosity in shales.

It is possible to estimate overpressured zones from normal porosity in shales [2]. In Figure 48 normal trend of porosity in shales against vertical stress is presented:

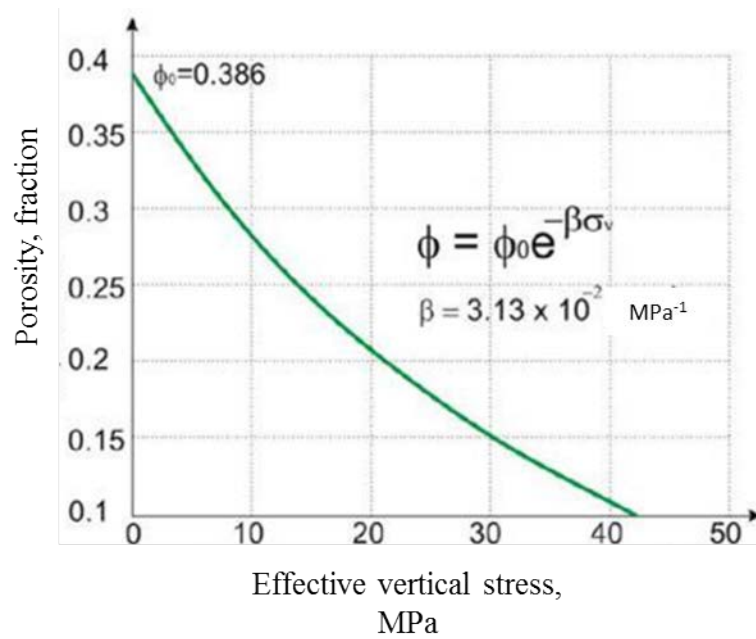


Рисунок 7 normal trend of porosity in shales

Here, porosity equals (formula № 9):

$$\varphi = \varphi_0 * e^{-\beta \sigma_v} \dots\dots\dots(16)$$

Where φ – normal porosity in shales

σ_v – vertical stress, MPa.

$$\beta = 3.13 * 10^{-2}.$$

$\varphi_0 = 0.386$ – initial porosity almost in all shales

In ranges, where porosity is higher than normal porosity, pressure also is higher than normal pressure, because part of the load is transferred to the fluid. Thus two main overpressure zones were found (results presented in Figures 49-50):

After normal porosity calculation and estimation of overpressure zones pore pressure can be found by next formula:

$$Pp = Sv + \left[\frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{\varphi}{\varphi_0} \right) \right] \dots\dots\dots(17)$$

By this formula it is possible to find pressure in shales, pressure in other lithologies should be interpolated for correct estimation. Results of pressure estimation presented in Figure 51.

Pressure in production interval coincidences with formation pressure derived from well test data. Also a large part of the cross section is underpressured. It coincidences with drilling data (loses of drilling mud in these intervals).

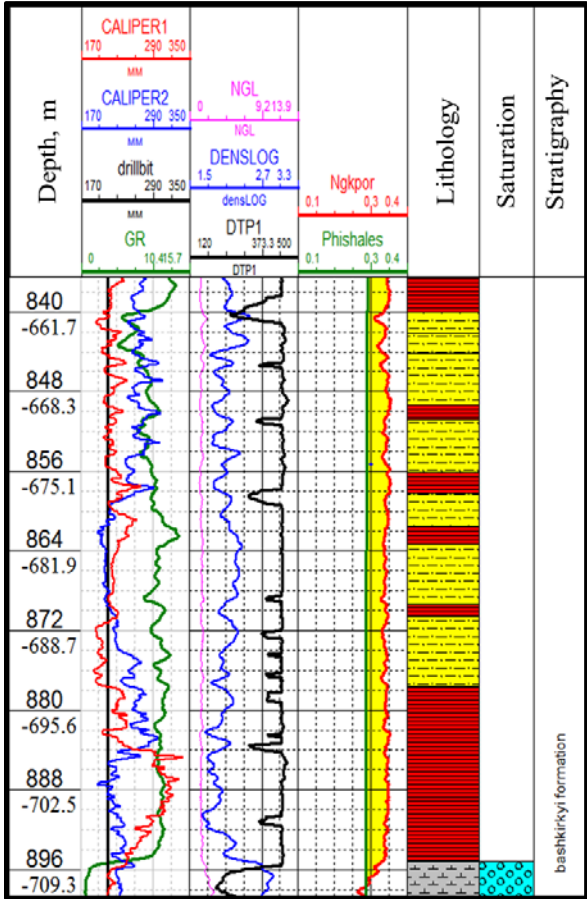


Рисунок 8 – overpressured zone1

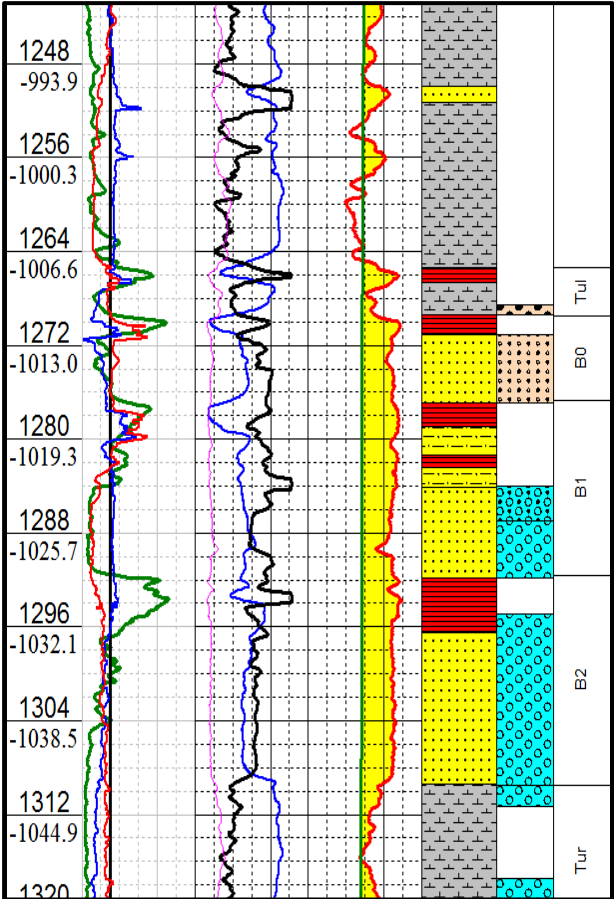


Рисунок 9 – overpressured zone 2

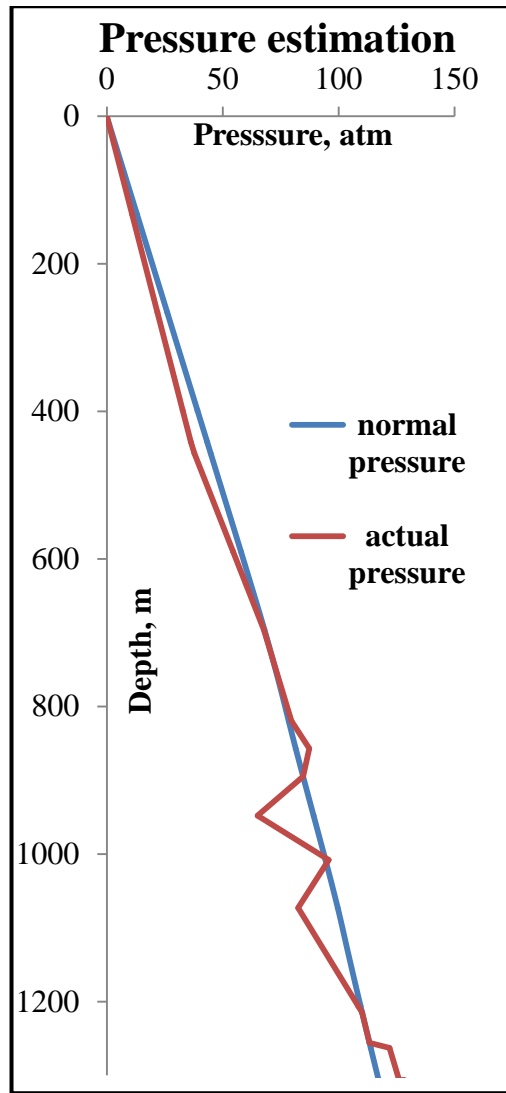


Рисунок 10 – pressure estimation.

2.4 σ_{min} , σ_{max} calculation and further surveys

Actually there is not enough information for correct estimation for these parameters therefore S_{hmin} will be estimated from the following correlation.

$$S_{hmin} = \left(\frac{v}{1-v} \right) * (S_v - P_p) + P_p \dots\dots\dots(18)$$

For correct S_{hmin} and S_{hmax} calculation it is necessary to perform mini frac or limit test in next wells which will be drilled. Also it is necessary to perform microimigers log for determination of S_h and S_H direction. Next step is to perform geomechanical core surveys in production interval for correction of such parameters as: E , σ , and UCS

3 Заключение

Геомеханическая модель имеет множество применений, например: оптимизация процесса бурения, оптимизация ГРП и решение проблемы пескопроявления. Для построения геомеханической модели необходимо наличие плотностного и акустического каротажей по всему разрезу скважины, также необходим акустический каротаж поперечных волн для расчета геомеханических параметров.

В результате выполнения работы все, необходимые для построения геомеханической модели каротажи были восстановлены в скважине № 99. Предложены методики по восстановлению акустического и плотностного каротажей в кондукторе скважин (схема приведена на рисунке 40), также была предложена методика по восстановлению плотностного каротажа в скважине, где он полностью отсутствует (схема приведена на рисунке 41).

Далее для Сулакского месторождения Ульяновской области были подсчитаны параметры, необходимые для создания одномерной геомеханической модели: модуль Юнга, коэффициент Пуассона, угол внутреннего трения, прочность на одноосное сжатие, вертикальный стресс.

Предложены дальнейшие исследования для уточнения наиболее неопределенных параметров – минимальных и максимальных горизонтальных стрессов, а также предложены дальнейшие работы для уточнения уже подсчитанных параметров.

В завершение работы хотелось бы еще раз отметить, что в настоящее время геомеханика активно развивается как прикладная наука, с ее помощью решается множество производственных задач. Результаты, полученные в данной работе, оптимизируют процесс построения геомеханической модели, делают его более дешевой и доступной процедурой.

4 Список литературы

- [1] «Методическое руководство по расчету коэффициентов извлечения нефти из недр, РД 39-01470355-214-86;».
- [2] «Дополнение к технологической схеме разработки Сулакского нефтяного месторождения».
- [3] «Технологическая схема разработки Сулакского месторождения нефти».
- [4] D. P. W. Glover, Petrophysics.
- [5] Plumb, «SPE 20822».
- [6] Chandong Chang, «Emirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks».
- [7] The rock physics handbook.
- [8] M. D. Zoback, Reservoir geomechanics.
- [9] «Федеральный Закон № 366-ФЗ от 24.11.2014 г.».
- [10] «18. Методические указания. Комплексование и этапность выполнения геофизических, гидродинамических и геохимических исследований нефтяных и нефтегазовых месторождений, РД 153-39.0-109-01, Москва, 2002г.;».
- [11] «Геологическое изучение и использование недр, Министерство природных ресурсов, Москва, 1999г.».
- [12] ««Земельный кодекс РФ», №136-ФЗ от 25.10.2001 г.».
- [13] «Дополнение к технологической схеме разработки Сулакского нефтяного

месторождения».

[14] ««Об охране окружающей среды», №7-ФЗ от 10.01.2002 г.».

[15] «Об особо охраняемых природных территориях», №33-ФЗ от 14.03.1995
г.».

[16] «Правила разработки нефтяных и газонефтяных месторождений,
Миннефтепром, Москва, 1987г.;».